智力运动专家领域内知觉与记忆的加工特点及其机制*

赵冰洁　张琪涵　陈怡馨　章　鹏　白学军

（教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院，天津师范大学心理学部，国民心理健康评估与促进协同创新中心，天津，300387）

摘　要　智力运动是以开发智力为目的且涉及到较多认知活动的竞技运动。研究表明，长期的智力运动经验会影响专家在领域内任务中知觉及记忆的行为表现及其大脑活动。智力运动经验使专家知觉广度增大的同时，促进专家对棋子关系进行整体性知觉加工，且这一过程与颞顶联合区、缘上回、压后皮质、侧副沟、梭状回等区域有关；在长时记忆中存储的具体（空间位置）及抽象信息（知识、策略、棋子关系等）是专家记忆优势发生的基础，该过程与内侧颞叶、额叶和顶叶有关。未来研究可以从智力运动类型、创新实验范式，结合测量设备及认知特点，深入探讨智力运动专家整体知觉优势及记忆优势的神经机制，为人工智能和技能训练等提供理论依据。

关键词　智力运动，整体知觉优势，记忆优势，抽象信息，大脑可塑性

“智力运动”是由国际智力运动联盟(International Mind Sports Association, IMSA)于2005年提出的，以开发智力为目的的运动(Gentile et al., 2018; Kobiela, 2018)。目前列入智力运动的项目有：桥牌(bridge)、国际象棋(chess)、围棋(Go/baduk)、国际跳棋(draught)、中国象棋(xiangqi/Chinese chess)和麻将(mahjong)。

相比于需要机体肌肉、骨骼参与的，以动作技能的掌握为主要目的的传统体力运动，智力运动主要涉及的是一种需要思维参与的心智技能，即运用某种习得的规则或程序顺利完成智力任务的能力(Kobiela, 2018)。智力运动专家经过长时间有计划有组织的智力运动训练，使其在特定智力运动专项上的表现显著优于常人。研究表明，智力运动训练能够促进个体的认知表现，不仅可以提高个体的注意、知觉、记忆等基本认知能力(Bilalić, Langner, et al.,

*收稿日期：2021-04-10
* 国家社会科学基金重大项目(20ZDA079)、全国文化名家暨四个一批人才项目资助。
通信作者：白学军，E-mail: bxuejun@126.com

2011; Burgoyne et al., 2016; Chu-Man et al., 2015; Fattahi et al., 2015; Iizuka et al., 2018; Sala & Gobet, 2017a)，而且对个体的推理、计划、问题解决、元认知等高级认知能力也有促进作用(Aciego et al., 2012; Bilalić et al., 2019; Cheng et al., 2014; Joseph et al., 2016; Kazemi et al., 2012; Subia et al., 2019; Unterrainer et al., 2006)。智力运动专家在这些认知过程中的增益表现，称为智力运动专家优势(expertise effects, Ferrari et al., 2008; Whitaker et al., 2020)。

专家在智力运动期间需要集中注意力，结合当前的知觉信息和长时记忆中存储的规则，在头脑中制定和评估计划，选择出最佳方案(Bart, 2014)。因此，智力运动专家不仅在基本认知过程，在高级认知过程中也存在优势。基本认知过程是高级认知过程的基础。智力运动的关键在于对人造物体的语义和功能等抽象信息进行规则学习，即通过观察有限的刺激原型发现其中存在的抽象关系，并将之泛化运用到新刺激的能力(Schonberg et al., 2018)。这一过程反映了个体对智力运动相关刺激（例如棋局、牌局）的适应性知觉变化以及知识经验的累积，推动了个体知觉及记忆能力的可塑性发展。研究者认为快速的知觉加工是智力运动专家优势的基础(Chase & Simon, 1973; Reingold & Charness, 2005; Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001; Reingold, Charness, Schultetus, & Stampe, 2001)，记忆会限制规则的学习过程(Frank & Gibson, 2011)。因此，智力运动专家的超凡表现建立在其知觉及记忆优势之上，而推理、问题解决等高级认知加工又是以知觉和记忆等基本认知过程为基础的。所以，知觉和记忆过程是智力运动专家优势表现的重要核心。

然而，当前研究对智力运动专家在知觉、记忆上的特异性加工机制未得到一致性的结论。研究表明智力运动专家存在稳定的领域内知觉优势，但在优势的产生机制上存在争论。有些研究者认为专家存在优势的原因是可以对信息进行整体加工(Kundel et al., 2007; Sheridan & Reingold, 2017)；有些研究者则认为专家主要对重要的局部信息进行知觉加工(Brams et al., 2019)。在记忆优势上，有研究强调具体信息在智力运动中的重要性(Chase & Simon, 1973; Gobet & Simon, 1998)，有研究显示抽象信息的习得与智力运动更密切(间接引自: Gobet, 1998; 原文：Holding, 1985)，也有研究认为二者兼有之(Linhares & Brum, 2007; Linhares & Chada, 2013)。鉴于此，本研究基于专家-新手范式，总结智力运动研究领域取得的研究进展，基于知觉与记忆这两种认知过程揭示智力运动专家的内在加工模式及其机制，同时对未来的研究方向进行了展望，以便更好地理解智力运动专家优势效应的神经机制。

1 智力运动专家的整体知觉优势及其神经机制

1.1 行为学证据

对智力运动而言，知觉重要棋子或纸牌的能力极其重要，对重要棋子或纸牌的识别有助于玩家从长时记忆中提取其相应规则，进一步确定移动方案。早期研究表明，国际象棋专家在真实棋局或随机棋局下进行视觉搜索任务(部分研究要求搜索目标为骑士，部分要求搜索骑士和主教的总和)所需要的反应时均短于新手。但是，在识别单一棋子时专家和新手不存在显著差异(Bilalić, 2016; Bilalić, Kiesel, et al., 2011; Bilalić et al., 2010; Bilalić, Langner, et al., 2011; Saariluoma, 1985)。

国际象棋专家在领域内任务上表现出知觉优势的原因可能是他们可以对棋局进行整体编码。研究者使用复合范式(composite paradigm)，要求被试仅依据棋局的下半部分判断当前棋局与前一棋局的一致性。结果发现棋局上半部分的变化也会影响一致性判断。这说明专家会自动加工整个棋局(Boggan et al., 2012)。

国际象棋专家在领域内任务上产生整体知觉优势的原因有两个。第一，长期训练导致专家的知觉广度增加。研究者借助眼动仪发现，专家对真实棋盘的知觉广度更大，在进行任务时可以快速定位目标区域，通过较少的注视次数就可以完成任务(Bilalić, Kiesel, et al., 2011; Bilalić et al., 2010; Reingold & Charness, 2005; Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001)。第二，对抽象棋子关系(双方棋子的攻防关系)的自动平行加工。使用将军探测任务发现专家在加工棋子关系时的反应时显著短于新手(Bilalić, 2016; Bilalić, Kiesel, et al., 2011; Bilalić, Langner, et al., 2011; Wright et al., 2013)。即使在无意识条件下专家也可以对棋局中的棋子关系进行加工(Kiesel et al., 2009)。与逐一加工棋子关系的新手不同，专家会自动地同时加工棋子间的多种关系(Reingold, Charness, Schultetus, & Stampe, 2001)。即使要求被试只判断线索位置的棋子是否可以将军，专家仍会自动加工其他位置的棋子(Postal, 2012)。来自眼动注视的结果也表明专家将更多的注视分布于棋子间而不是单个棋子上(Bilalić, Kiesel, et al., 2011; Reingold & Charness, 2005; Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001)。由于国际象棋专家的知觉广度大，在先验知识的作用下可以对抽象的棋子关系进行平行编码。因此在领域内任务上表现出专家的整体知觉优势。该结果符合图像知觉的整体性模型(the holistic model of image perception)，即专家的知觉广度越大，越可以利用副中央凹快速提取信息，进而实现对图像的整体-局部加工(Brams et al., 2019; Kundel et al., 2007; Sheridan & Reingold, 2017)。对

中国象棋专家的研究发现了相似的结果，即专家能够利用副中央凹提取信息并表现出较大的知觉广度，具有较强的整体知觉加工能力(王福兴 等, 2016)。

1.2 神经影像证据

研究表明颞顶联合区(temporo-parietal junction, TPJ)、缘上回(supramarginal gyrus, SMG)、压后皮层(retrosplenial cortex, RSC)、侧副沟(collateral sulcus, CoS)、梭状回(fusiformis gyri, FFA)等区域是智力运动专家在领域内任务上存在整体知觉优势的神经基础。

前人研究显示 TPJ 与整体知觉加工有关(Bloechle et al., 2018; Huberle & Karnath, 2012; Rennig et al., 2015)。Rennig 等人(2013)以 TPJ 为兴趣区，对前人使用功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)收集的数据重新进行分析发现，真实棋局下国际象棋专家 TPJ 的激活水平高于新手，随机棋局下不存在差异。这说明长期训练导致专家的知觉广度增加，专家可以依据其存储的大量先验知识对真实棋局进行整体知觉加工，因此引起 TPJ 的激活。

SMG 参与抽象棋子关系的觉知。例如，Bilalić 等人(2012)通过需要加工抽象棋子关系的威胁任务（判断黑子攻击白子的数量是否为 4）发现，国际象棋专家在 SMG 上的激活程度高于新手。而在无需加工抽象棋子关系的视觉搜索任务中并未发现国际象棋专家和新手在该区域存在差异(Bilalić et al., 2010)。因此，SMG 可能是专家对抽象棋子关系进行平行加工，进而表现出整体知觉加工的神经基础。由于棋子关系的加工往往以棋子的识别为基础，有研究者发现在棋子识别上国际象棋专家枕颞联合区(occipito-temporal junction, OTJ)存在特异性激活(Bilalić et al., 2010)，但在形状识别任务中与新手无显著差异(Bilalić, Kiesel, et al., 2011)。

此外，真实棋局与随机棋局下国际象棋专家大脑激活模式的比较研究，也可以为基于抽象棋子关系的整体知觉加工的脑机制提供一定的实证基础。相比于随机棋局，真实棋局包含了有意义的抽象棋子关系，已习得的棋局经验更容易引导专家完成多个棋子关系的平行加工，即整体知觉加工。研究表明，国际象棋专家的 RSC 和 CoS 在真实棋局下的激活强度高于随机棋局，FFA 在随机棋局下的激活强度高于真实棋局；而新手在真实棋局与随机棋局下的大脑激活模式不存在差异(Bilalić et al., 2010; Bilalić et al., 2012; Bilalić, Langner, et al., 2011)。RSC 的激活与棋子关系加工有关，CoS 与快速定向过程有关(Bilalić et al., 2012)，FFA 的激活与整体知觉加工有关(Bilalić et al., 2016; Ross et al., 2018)。虽然前人认为 FFA 是负责加工面孔的特异性脑区(Kanwisher & Yovel, 2006)，但是不同类型的专家在加工领域内刺激时也会引起 FFA 的激活(Bilalić et al., 2016; Gauthier et al., 2000; Ross et al.,

2018)。而且在面孔和其他刺激的加工中均存在倒置效应(inversion effect)。据此认为 FFA 是受经验调节的视觉加工区域，主要负责整体加工(Bilalić et al., 2016; Ross et al., 2018)。国际象棋专家在象棋经验的作用下，对刺激(真实棋局)进行整体加工，由于对真实棋局的熟悉度较高，降低了刺激的视觉复杂性，从而能够快速定位目标区域并捕获抽象的棋子关系。这一过程可能反映了专家在领域内任务上整体知觉优势的相关神经机制。

Wan 等人(2011)探讨了日本象棋(将棋)专家的特异性知觉加工的神经基础。结果发现，相比于随机棋局或其他刺激(例如，国际象棋、场景、面孔等)，专家在真实棋局(例如开局、残局)下显著激活楔前叶(precuneus)；而低水平业余组在真实棋局与随机棋局(或其他刺激)上无显著差异。这说明楔前叶可能也参与专家领域内的整体知觉加工。

1.3 有待进一步探讨的问题

通过整理与分析前人研究发现，智力运动专家在领域内任务上的整体知觉优势主要得益于知觉广度的增大以及对抽象棋子关系的平行加工。在智力运动经验的作用下，专家更容易在真实棋局下表现出整体知觉优势，但在随机棋局下的知觉优势仍存在争议。部分研究者在随机棋局下发现了专家优势(Bilalić et al., 2010; Bilalić, Langner, et al., 2011)。这可能是专家增大的知觉广度促进了对随机棋局中棋子及其关系的知觉；也可能是随机棋局仍然存在抽象棋子关系，无法保证随机棋局内的棋子关系都无意义。然而，另一些研究者并未观测到这一知觉优势(Bartlett et al., 2013; Krawczyk et al., 2011; Reingold, Charness, Pomplun, & Stampe, 2001)。今后需要进一步探讨棋子关系的平行加工及知觉广度的增大在智力运动专家觉知随机棋局中的作用。

国际象棋专家整体知觉优势的神经机制仍存在一些争议。研究者发现在将军探测任务中右侧 TPJ 在真实棋局下的激活高于随机棋局，但是在棋子识别任务中却低于随机棋局(Rennig et al., 2013)。将军探测任务和棋子识别任务均涉及对棋子的识别过程，但是将军探测任务还额外需要对棋子之间的关系进行加工(Bilalić et al., 2010, 2012; Bilalić, Langner, et al., 2011)。这是否说明整体加工受加工深度的调节。此外，行为学研究结果表明专家的知觉优势具有领域特异性，即智力运动专家在进行领域内任务时表现出知觉优势，在领域外的一般任务上的表现则与新手相似(Bilalić, Kiesel, et al., 2011; Bilalić et al., 2010; Bilalić, Langner, et al., 2011)。但这一现象并没有反映在大脑激活模式上，部分神经影像研究表明，在领域外的一般任务上专家相关脑区的激活水平也显著高于新手。例如，在点判断任务中专家 FFA 的激活程度高于新手(Bilalić, Langner, et al., 2011)。在 TPJ 上也发现类似结果(Rennig

et al., 2013)。

此外，当前关于智力运动专家在领域内知觉优势方面的研究，较集中于国际象棋专家。然而，其他类型的智力运动相关研究，虽然也观测到专家的整体知觉优势，但内在的神经过程存在差异。例如，国际象棋专家在随机棋局下楔前叶的激活高于真实棋局(Bartlett et al., 2013)。然而，日本象棋专家的激活模式与之相反。这些差异也可能是实验范式、分析方法的不同所致。上述这些问题的解决，都有待进一步的系统性探究。

2 智力运动专家的记忆优势及神经机制

2.1 行为学证据

记忆是个体获得知识和技能的关键，这一基本认知过程在智力运动中尤其重要。前人研究表明，智力运动专家对棋局或牌局的记忆更加精准、灵活，表现出稳定的领域内记忆优势。研究者在短暂呈现棋局后要求被试回忆刚才呈现的棋局（复盘任务），结果发现记忆表现与技能水平呈正相关(Gobet & Simon, 1996a)。专家对真实棋局的记忆准确率显著高于新手(Chase & Simon, 1973; Gobet & Clarkson, 2004; 公彦霏, 2015)。即使在随机棋局下也存在记忆优势(Gobet & Simon, 1996b; Sala & Gobet, 2017b)。研究表明，棋子的空间位置（具体）信息是专家长时记忆的内容之一。与新手相比，国际象棋专家的记忆更稳定，不易受干扰任务的影响(Frey & Adesman, 1976; Gobet & Simon, 1996c; Robbins et al., 1996)。此外，国际象棋专家的记忆也更加灵活，改变棋局的呈现方式对专家的记忆表现无明显影响。比如，用字母替代棋子的方式呈现棋局时，专家的记忆表现和真实棋局无差异(Campitelli et al., 2005)。这说明，专家的长时记忆中不但包含了棋子空间位置的具体信息，也储存了能够处理棋子关系的抽象信息。上述因素可能均促使了智力运动专家记忆优势的产生。已有理论对国际象棋专家领域内记忆优势产生的原因进行了解释：

（1）组块理论(chunking theory; Chase & Simon, 1973)主张，长时间的智力运动训练，使空间上接近且经常同时出现的棋子群集被国际象棋专家存储为组块。因此，组块是指具体分布在某些特定方格上的特定棋子。真实棋局下，国际象棋专家会将当前棋局与存储在长时记忆中的组块进行匹配，并将自动激活的组块信息提取到短时记忆以完成相关记忆任务。因此，在真实棋局上的记忆表现显著优于新手。然而，组块理论难以对一些研究结果加以解释。例如，由于随机棋局中的棋子是随机呈现的，不存在相关的先验组块信息。但是研究者发现随机棋局下也存在专家记忆优势(Gobet & Simon, 1996b; Sala & Gobet, 2017b)。此外，干扰任务也并不影响象棋专家的记忆表现(Frey & Adesman, 1976; Gobet & Simon, 1996c)。组块理论认为，国际象棋专家将提取的组块信息存放于短时记忆中，干扰任务会影响短时记忆，继而会影响专家的记忆表现。但实际结果与此不符，显然组块理论在解释国际象棋专家的记忆优势上存在局限。

（2）模板理论(Template theory; Gobet & Simon, 1996c)是对组块理论的发展，主张长时记忆中存储的是模板及提取结构(retrieval structure)。模板是通过智力运动比赛或学习相关书

籍等过程内隐习得的带有信息槽的大组块，十几个经常出现的棋子形成了大组块的核心，在大组块的信息槽中存储着不固定的特征或相关棋着（棋招）、计划、开局、移动及与其他模板间关系等信息。因此在随机棋局中也可能存在专家记忆优势。提取结构是指经过足够的练习和训练，个体可以从长时记忆中提取有用信息的结构(Chase & Ericsson, 1982)，它为“专家的记忆表现较少受干扰任务的影响”提供了解释(Robbins et al., 1996)。

组块理论和模板理论均认为专家的长时记忆中存储的是通过对刺激的视觉熟悉和区分过程建立起来的辨别网络(discrimination net)，并且这一过程是内隐习得的。专家通过基于组块/模板的辨别网络对呈现的棋局进行熟悉性再认判断以完成记忆任务。由于对棋子/棋局的视觉熟悉性往往通过具体的空间位置构建起来(Chase & Simon, 1973; Gobet & Simon, 1998)，因此这两个理论的核心——组块的形成，离不开对棋子具体空间位置的记忆。然而，研究者发现改变棋局的呈现方式不影响专家的记忆表现(Campitelli et al., 2005)。语义指导语却会影响记忆成绩(Cooke et al., 1993)。Lane 和 Chang (2018)通过分析 79 位国际象棋专家的陈述性象棋知识和记忆能力发现，高度概括的象棋知识可以解释记忆表现中 67%的变异。这说明抽象信息也会影响专家的记忆表现。

（3）SEEK 理论(the search, evaluation, and knowledge theory, SEEK; 间接引自: Gobet, 1998; 原文：Holding, 1985)主张：专家长时记忆中储存了更加抽象和概括的知识，而不是具体的视觉空间信息。研究表明，棋手的水平越高，掌握的高度概念化知识越多(Chassy & Gobet, 2011)。国际象棋专家更倾向基于抽象关系而非简单的视觉相似性对棋局进行分类(Linhares & Brum, 2007)。专家对水平镜像处理(左右不变，上下倒置)后棋局的记忆表现和原始棋局的记忆表现无显著差异(Gobet & Simon, 1996a)。这些结果都证明了棋局的抽象信息在专家记忆中的作用。SEEK 理论虽然强调了抽象信息对记忆的影响，却忽略了棋子空间位置等具体信息的作用。Linhares 和 Brum (2007)认为组块中包含不同层级的编码，既有表层的位置信息也有抽象的深层结构(语义、概念)。Schultetus 和 Charness (1999)发现对棋子关系的加工可显著提高象棋专家的回忆表现。专家和非棋手的记忆差异也主要体现在具有攻防关系的棋子上(Gong et al., 2015)。Vaci 等人(2019)通过纵向追踪研究发现，图形智力对象棋技能的预测能力有限，相比之下言语智力的影响程度更大，在再认判断中棋子关系也更加重要(McGregor & Howes, 2002)。可见，在专家记忆中，与棋局的具体信息相比，其高度概括化的知识、策略及棋子关系等抽象信息更加重要。

研究者在中国象棋、桥牌以及围棋复盘回忆任务上也发现了专家的记忆优势。专家对真

实棋局的复盘能力均优于新手(Engle & Bukstel, 1978; 王福兴 等, 2016)。刘宁 (2019)在严格控制匹配了围棋专家和新手的知觉及工作记忆能力后，发现围棋专家也存在记忆优势。

2.2 神经影像证据

包含海马、海马旁回的内侧颞叶区域是负责记忆的重要脑区(Eichenbaum, 2004; 张钦 等 2021)。脑损伤患者的研究表明，内侧颞叶受损对长时记忆以及视觉短时记忆均产生影响(Koen et al., 2017; Scoville & Milner, 1957)。国际象棋专家在加工真实棋局时左侧海马旁回(parahippocampal)表现出特异性激活(Campitelli et al., 2007)。这说明国际象棋专家存储的大量有关真实棋局的信息(例如：具体的空间位置信息及抽象的棋子关系、策略信息等)促进了专家记忆优势的表现。

研究者还发现了专家存在随机棋局记忆优势的神经基础。与新手相比，国际象棋专家在加工随机棋局时引起顶下沟(inferior parietal sulcus, IPS)的强烈激活，而且 IPS 的激活与再认表现显著相关(Bartlett et al., 2013)。研究显示该区域除了负责注意外，还与记忆任务中的策略编码有关(Bor & Owen, 2007; Sestieri et al., 2017)。由于随机棋局中棋子/棋局的视觉熟悉性被打破，专家在随机棋局下的记忆优势可能更多的反映了长时记忆中储存的抽象信息对记忆的促进作用。因此 IPS 的激活可能反映了专家利用已储存的抽象信息对随机棋局进行策略编码的加工过程。

对其他类型智力运动专家领域内记忆优势神经机制的探究，发现了脑区间的协同作用 。Nakatani 和 Yamaguchi (2014)借助 EEG 考察日本象棋专家和新手进行复盘任务时的脑电活动。结果发现真实棋局不仅可以引起专家在 200ms 时额叶以及 700ms 时颞叶、额叶、顶叶区域的特异性激活，还引起专家额颞、额顶区域的功能连接。对围棋专家的研究得到了相似的结果(Jung et al., 2018)。额叶是工作记忆的核心脑区，真实棋局引起额叶的快速激活可能反映了对棋局信息的初步粗略加工；颞叶参与先验棋局知识的存储与提取，顶叶负责棋子空间关系的加工(Berlucchi & Vallar, 2018; Cabeza & Nyberg, 2000; Ptak, 2012; Vaz et al., 2019)。额叶与颞叶、顶叶的协同活动，对应了工作记忆加工当前棋局信息并提取相关智力运动经验的内在过程。这说明额叶和顶叶也参与智力运动专家的记忆加工，且其参与程度因智力运动类型的不同而不同。

2.3 有待进一步探讨的问题

关于专家领域内记忆优势的相关理论，一些强调具体信息的重要性（组块和模板理论），另一些强调高度概念化的抽象知识的重要性（SEEK 理论）。但是这些理论都存在不足和需要修改的内容，对其他类型智力运动的适用性也需进一步的探究。智力运动专家可能

形成了一个专门针对于领域内相关信息的“记忆层级塔”，该层级塔最底层为按照空间位置进行编码存储的具体信息，最高层为原理、概念、知识等最一般的抽象信息。记忆塔的层级按照信息的抽象性、概括性逐级增加，且各层之间存在交互。因此，智力运动专家在回忆真实、随机棋局等这类涉及具体信息的记忆任务中表现较好(Chase & Simon, 1973; Gobet & Clarkson, 2004; Gobet & Simon, 1996b; Sala & Gobet, 2017b; 公彦霏, 2015)，并且在变换棋子呈现方式、变换指导语等这类涉及抽象信息的记忆任务里也有较佳的表现(Campitelli et al., 2005; Cooke et al., 1993)。但该概念性模型的具体参数、影响因素以及相应的生理基础均需要进一步的实证研究检验。

通过对智力运动专家领域内记忆优势神经影像研究的整理，获得了较一致的发现：内侧颞叶参与长时记忆的形成与提取，引起智力运动专家记忆优势的相关具体及抽象信息可能被存储在该区域中。但额叶、顶叶等区域在智力运动专家记忆加工中的作用目前还未理清。例如，额叶是否只参与日本象棋和围棋专家的记忆优势；顶叶是否只负责棋子空间关系的加工；相关记忆理论的神经基础是什么，等等。此外，虽然研究者发现 IPS 的激活可能反映了专家利用存储的抽象记忆信息对随机棋局进行有效的策略编码，但在同样负责记忆策略编码的其他脑区上未发现差异性激活(Bor & Owen, 2007)。该区域是否反映了策略编码仍需验证。因此，后续研究有必要采用更有效的研究范式及观测方法，深入考察智力运动专家记忆优势的神经机制，及其在不同类型智力运动上的异同。

3 总结与展望

3.1 总结

综上所述，智力运动专家在领域内任务中知觉及记忆上的加工特点、机制如下：

(1)智力运动专家存在整体知觉优势的原因可能是知觉广度的增大以及对抽象棋子关系的平行加工。其神经机制可能表现为：RSC 和 CoS 中存储的大量相关经验知识，使得专家 TPJ 和 FFA 的特异性激活进而对棋局进行快速的整体加工，并基于 OTJ 的棋子识别，利用 SMG 对该区域中的抽象棋子关系进行平行加工，由此表现出整体知觉优势。

(2)智力运动专家存在记忆优势的原因在于，专家长时记忆中存储的具体空间位置信息及高度概括化的知识、策略、棋子关系等抽象信息。部分支持了模板理论和 SEEK 理论。此外，研究者发现，智力运动专家的记忆优势不仅与负责工作记忆、空间关系加工的额叶、顶叶有关，也会特异性激活负责长时记忆的颞叶区域。

因此，智力运动专家通过较大的知觉广度以及对抽象棋子关系的自动平行加工完成了棋局的整体知觉，并依据长时记忆中存储的具体以及抽象信息，对双方棋局进行评估，做出最佳选择。由于智力运动是个体后天对人造物体抽象规则的习得，所以专家在领域内任务中稳定表现出的优势反应是一种后天习得的、与智力运动相关的特殊能力。该特殊能力作为智力的一部分，能够被后天的学习或训练所塑造。但是智力运动专家在领域外任务上的专家优势仍存在争议(Bartlett et al., 2013; Bilalić, 2016; Bilalić, Kiesel, et al., 2011; Bilalić, Langner, et al., 2011; Burgoyne et al., 2016; Fattahi et al., 2015; Joseph et al., 2016; Sala et al., 2017; Sala & Gobet, 2017a; Smith et al., 2021; Unterrainer et al., 2006)。这说明，通过后天刻意练习获得的特殊能力是否可以迁移到领域外一般任务上目前尚不明确。

前人研究表明遗传因素以及遗传因素和刻意练习的共同交互作用在专家表现中的重要作用(Mosing et al., 2016; Ullén et al., 2016; Vaci et al., 2019)。与前人研究一致，本研究表明刻意练习与专家-新手的差异表现有关，支持了刻意练习对专家表现的促进作用(Ericsson, 2007; Hambrick et al., 2014)。但是，由于研究者主要采用的是横断比较的结果，无法排除先天遗传因素对特殊能力的影响(Ullén et al., 2016)。此外，研究表明先天遗传因素同样会对一般智力产生影响(Polderman et al., 2015; Sauce & Matzel, 2018; Savage et al., 2018)，而一般智力是个体在不同任务上表现的核心(Mackintosh, 2011)。所以领域外一般任务上的表现主要受一般智力的影响。因此，可能是先天遗传因素导致智力运动专家虽然在领域内任务上表现出

的稳定性优势，在领域外任务上的表现却存在争议。未来研究可以进一步探讨遗传因素对特殊能力在泛化能力上的作用。

3.2 展望

本文总结了智力运动对专家在领域内任务中知觉和记忆这两个基本认知过程的影响，但仍存在以下问题需要进一步探讨。

(1)与行为实验相比，脑成像研究中对专家整体知觉优势神经基础的考察有待进一步补充。现有研究仅根据真实棋局与随机棋局的差异或者根据负责整体加工脑区的激活情况进行推断，尚不能完整地刻画出专家知觉优势的神经基础，而且对脑成像结果与行为结果的不完全一致需进一步探讨。后续需要在严格控制随机棋局的条件下，采用统一范式进行大样本施测以考察负责整体知觉的 TPJ、FFA 以及复杂棋子关系加工的 SMG、RSC 在智力运动专家知觉优势上的作用，并且通过高分辨率的 fMRI 考察智力运动专家知觉领域内刺激时上述脑区的特异性脑网络模式。此外对专家记忆优势神经机制的探讨缺乏针对性，难以依据研究结果解决记忆相关理论的争论。颞叶的激活代表着模板理论强调的具体信息，还是 SEEK 理论强调的抽象信息目前尚不清楚。现有研究发现前颞叶以及与感知觉相关脑区更多的参与具体信息的加工(Bucur & Papagno, 2021; Loiselle et al., 2012; Straube et al., 2013)，而内侧颞叶、颞中回以及额下回更多的参与抽象信息的加工(Binder et al., 2009; Bowman & Zeithamova, 2018; Reber et al., 2019; Wang et al., 2010)。但是智力运动专家对抽象与具体信息的存储神经分布模式尚不清楚，也不清楚这些脑区之间如何连接。由于具体信息在加工阶段上要早于抽象信息，今后可以采用 MEG 探讨智力运动专家记忆优势在时间及空间上的神经基础。后续研究还可以通过图论、功能连接或动态因果的分析方法揭示颞叶、额叶、顶叶之间的协同关系，不同脑区对专家优势的影响是特异性还是受共同机制调节，以及脑区之间的相互作用关系等进行进一步探索。

(2)绝大多数研究主要集中于国际象棋及象棋，对其他智力运动的考察较少。与象棋相比，围棋和跳棋中所有棋子的功能一致，对弈双方只在棋子颜色上存在差异，因此颜色等具体信息会更加影响专家的知觉加工；而桥牌更多的依赖数理计算等抽象思维过程。此外，依照对弈双方的数量还可以将智力运动分为单人竞技和团队竞技，围棋、国际象棋、象棋、跳棋是一对一或一对多的单人竞技，而桥牌是二对二的团队竞技，在强调个人能力的同时还需要团队成员间的密切配合。但是不同智力运动在认知需求上的差异是否导致外在行为和内在神经基础的差异目前仍不清楚。

(3)选择更加有效的测量手段。已有研究主要使用 fMRI 对知觉加工的神经机制进行考察，

但是对知觉这类快速的认知加工过程的考察更适用采用时间分辨率较高的 EEG 和 MEG；相反，由于记忆涉及皮层下结构的参与，考察该过程更适合采用空间分辨率较高的 fMRI。此外，对桥牌等团体性智力运动的考察，可以借助基于 fNIRS 的超扫描技术，减少仪器对个体活动限制的同时，深入考察团体成员间相互协作的神经机制。

(4)开发实用性强、标准化的研究范式。知觉任务的刺激呈现时间尚未得到统一，时间的充分性可能会导致组别区分度下降以及其他认知成分的掺杂；由于动作容忍度的限制，主要通过再认任务对记忆优势的神经基础进行考察，但是再认任务和回忆任务不仅在难度上存在差异，在策略上可能也有所不同。前人研究显示专家和新手在对随机棋局的再认上差异显著，但在回忆任务上无显著差异(McGregor & Howes, 2002)。因此研究者需要结合测量设备和认知特点，开发新的研究范式对知觉和记忆过程进行充分考察。

(5)基于智力运动专家的智能活动开展类脑研究。近期越来越多的智力运动数据用于人工智能的开发(Risi & Preuss, 2020; Schrittwieser et al., 2020)，阿尔法围棋人工智能机器人战胜了人类围棋大师。它的工作原理深度学习就是类比于人类的神经网络建造出来的。人类智能具有发展性、灵活性和创造性的特点。因此，计算机模拟与人类智力活动的加工特点及神经机制的结合，有利于类脑产品的探索与开发。

参考文献

公彦霏. (2015). *关于组块机制及其与国际象棋技能之间关系的拓展研究*(博士学位论文). 华东师范大学, 上海.

刘宁. (2019). *围棋专家的认知优势表现及其脑基础*(博士学位论文). 华东师范大学, 上海.

王福兴, 侯秀娟, 段朝辉, 刘华山, 李卉. (2016). 中国象棋经验棋手与新手的知觉差异: 来自眼动的证据. *心理学报*, *48*(5), 457–471.

张钦, 孟迎芳, 聂爱情, 赵鑫, 孙猛, 刘鑫宇. (2021). 记忆发展神经科学: 研究现状与未来展望. *中国科学: 生命科学, 51*(6), 647–662.

Aciego, R., Garcia, L., & Betancort, M. (2012). The benefits of chess for the intellectual and social-emotional enrichment in schoolchildren. *The Spanish Journal of Psychology*, *15*(2), 551–559.

Bart, W. M. (2014). On the effect of chess training on scholastic achievement. *Frontiers in Psychology*, *5*, 762.

Bartlett, J. C., Boggan, A. L., & Krawczyk, D. C. (2013). Expertise and processing distorted structure in chess. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 825.

Berlucchi, G., & Vallar, G. (2018). The history of the neurophysiology and neurology of the parietal lobe. *Handbook of Clinical Neurology, 151*, 3–30.

Bilalić, M. (2016). Revisiting the role of the fusiform face area in expertise. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *28*(9), 1345–1357.

Bilalić, M., Graf, M., Vaci, N., & Danek, A. H. (2019). When the solution is on the doorstep: Better solving performance, but diminished Aha! Experience for chess experts on the mutilated checkerboard problem. *Cognitive Science, 43*(8), e12771.

Bilalić, M., Grottenthaler, T., Nägele, T., & Lindig, T. (2016). The faces in radiological images: Fusiform face area supports radiological expertise. *Cerebral Cortex, 26*(3), 1004–1014.

Bilalić, M., Kiesel, A., Pohl, C., Erb, M., & Grodd, W. (2011). It takes two-skilled recognition of objects engages lateral areas in both hemispheres. *PLOS One*, *6*(1), e16202.

Bilalić, M., Langner, R., Erb, M., & Grodd, W. (2010). Mechanisms and neural basis of object and pattern recognition a study with chess experts. *Journal of Experimental Psychology: General*, *139*(4), 728–742.

Bilalić, M., Langner, R., Ulrich, R., & Grodd, W. (2011). Many faces of expertise: Fusiform face area in chess experts and novices. *Journal of Neuroscience*, *31*(28), 10206–10214.

Bilalić, M., Turella, L., Campitelli, G., Erb, M., & Grodd, W. (2012). Expertise modulates the neural basis of context dependent recognition of objects and their relations. *Human Brain Mapping*, *33*(11), 2728–2740.

Binder, J. R., Desai, R. H., Graves, W. W., & Conant, L. L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cerebral Cortex, 19*(12), 2767–2796.

Bloechle, J., Huber, S., Klein, E., Bahnmueller, J., Moeller, K., & Rennig, J. (2018). Neuro-cognitive mechanisms of global Gestalt perception in visual quantification. *NeuroImage, 181*, 359–369.

Boggan, A. L., Bartlett, J. C., & Krawczyk, D. C. (2012). Chess masters show a hallmark of face processing with chess. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(1), 37–42.

Bor, D., & Owen, A. M. (2007). A common prefrontal-parietal network for mnemonic and mathematical recoding strategies within working memory. *Cerebral Cortex*, *17*(4), 778–786.

Bowman, C. R., & Zeithamova, D. (2018). Abstract memory representations in the ventromedial prefrontal cortex and hippocampus support concept generalization. *Journal of Neuroscience, 38*(10), 2605–2614.

Brams, S., Ziv, G., Levin, O., Spitz, J., Wagemans, J., Williams, A. M., & Helsen, W. F. (2019). The relationship between gaze behavior, expertise, and performance: A systematic review. *Psychological Bulletin*, *145*(10), 980–1027.

Bucur, M., & Papagno, C. (2021). An ALE meta-analytical review of the neural correlates of abstract and concrete words. *Scientific Reports, 11*(1), 1–24.

Burgoyne, A. P., Sala, G., Gobet, F., Macnamara, B. N., Campitelli, G., & Hambrick, D. Z. (2016). The relationship between cognitive ability and chess skill: A comprehensive meta-analysis. *Intelligence*, *59*, 72–83.

Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(1), 1–47.

Campitelli, G., Gobet, F., Head, K., Buckley, M., & Parker, A. (2007). Brain localization of memory chunks in chessplayers. *International Journal of Neuroscience*, *117*(12), 1641–1659.

Campitelli, G., Gobet, F., & Parker, A. (2005). Structure and stimulus familiarity: A study of memory in chess-players with functional magnetic resonance imaging. *The Spanish Journal of Psychology*, *8*(2), 238–245.

Chase, W. G., & Ericsson, K. A. (1982). Skill and working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 16, pp. 1–58). New York, NY: Academic Press.

Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, *4*(1), 55–81.

Chassy, P., & Gobet, F. (2011). Measuring chess experts' single-use sequence knowledge: An archival study of departure from 'Theoretical' openings. *PLOS One*, *6*(11), e26692.

Cheng, S.-T., Chow, P. K., Song, Y.-Q., Yu, E. C. S., & Lam, J. H. M. (2014). Can leisure activities slow dementia progression in nursing home residents? A cluster-randomized controlled trial. *International*

Psychogeriatrics, 26(4), 637–643.

Chu-Man, L., Chang, M.-Y., & Chu, M.-C. (2015). Effects of mahjong on the cognitive function of middle-aged and older people. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 30*(9), 995–997.

Cooke, N. J., Atlas, R. S., Lane, D. M., & Berger, R. C. (1993). Role of high-level knowledge in memory for chess positions. *The American Journal of Psychology*, *106*(3), 321–351.

Eichenbaum, H. (2004). Hippocampus: Cognitive processes and neural representations that underlie declarative memory. *Neuron, 44*(1), 109–120.

Engle, R. W., & Bukstel, L. (1978). Memory processes among bridge players of differing expertise. *The American Journal of Psychology*, *91*(4), 673–689.

Ericsson, K. A. (2007). Deliberate practice and the modifiability of body and mind: Toward a science of the structure and acquisition of expert and elite performance. *International Journal of Sport Psychology, 38*(1), 4–34.

Fattahi, F., Geshani, A., Jafari, Z., Jalaie, S., & Mahini, M. S. (2015). Auditory memory function in expert chess players. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran, 29*, 275.

Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmeche, E. (2008). Effect of expertise acquisition on strategic perception: The example of chess. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 61*(8), 1265–1280.

Frank, M. C., & Gibson, E. (2011). Overcoming memory limitations in rule learning. *Language Learning and Development, 7*(2), 130–148.

Frey, P. W., & Adesman, P. (1976). Recall memory for visually presented chess positions. *Memory & Cognition*, *4*(5), 541–547.

Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature Neuroscience*, *3*(2), 191–197.

Gentile, A., Boca, S., & Giammusso, I. (2018). ‘You play like a Woman!’ Effects of gender stereotype threat on Women’s performance in physical and sport activities: A meta-analysis. *Psychology of Sport and Exercise*, *39*, 95–103.

Gobet, F. (1998). Expert memory: A comparison of four theories. *Cognition, 66*(2), 115–152.

Gobet, F., & Clarkson, G. (2004). Chunks in expert memory: Evidence for the magical number four ... or is it two? *Memory, 12*(6), 732–747.

Gobet, F., & Simon, H. A. (1996a). Recall of random and distorted chess positions: Implications for the theory of expertise. *Memory & Cognition*, *24*(4), 493–503.

Gobet, F., & Simon, H. A. (1996b). Recall of rapidly presented random chess positions is a function of skill.

Psychonomic Bulletin & Review, *3*(2), 159–163.

Gobet, F., & Simon, H. A. (1996c). Templates in chess memory: A mechanism for recalling several boards. *Cognitive Psychology*, *31*(1), 1–40.

Gobet, F., & Simon, H. A. (1998). Expert chess memory: Revisiting the chunking hypothesis. *Memory*, *6*(3), 225–255.

Gong, Y., Ericsson, K. A., & Moxley, J. H. (2015). Recall of briefly presented chess positions and its relation to chess skill. *PLOS One*, *10*(3), e0118756.

Hambrick, D. Z., Oswald, F. L., Altmann, E. M., Meinz, E. J., Gobet, F., & Campitelli, G. (2014). Deliberate practice: Is that all it takes to become an expert? *Intelligence, 45*, 34–45.

Holding, D. H. (1985). *The Psychology of Chess Skill*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Huberle, E., & Karnath, H.-O. (2012). The role of temporo-parietal junction (TPJ) in global Gestalt perception. *Brain Structure and Function*, *217*(3), 735–746.

Iizuka, A., Suzuki, H., Ogawa, S., Kobayashi-Cuya, K. E., Kobayashi, M., Takebayashi, T., & Fujiwara, Y. (2018). Pilot randomized controlled trial of the GO game intervention on cognitive function. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias®*, *33*(3), 192–198.

Joseph, E., Easvaradoss, V., Kennedy, A., & Kezia, E. J. (2016). Chess training improves cognition in children. *GSTF Journal of Psychology, 2*(2), 1–6.

Jung, W. H., Lee, T. Y., Yoon, Y. B., Choi, C. H., & Kwon, J. S. (2018). Beyond domain-specific expertise: Neural signatures of face and spatial working memory in Baduk (Go game) experts. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*, 319.

Kanwisher, N., & Yovel, G. (2006). The fusiform face area: A cortical region specialized for the perception of faces. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *361*(1476), 2109–2128.

Kazemi, F., Yektayar, M., & Abad, A. M. B. (2012). Investigation the impact of chess play on developing meta-cognitive ability and math problem-solving power of students at different levels of education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *32*, 372–379.

Kiesel, A., Kunde, W., Pohl, C., Berner, M. P., & Hoffmann, J. (2009). Playing chess unconsciously. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35*(1), 292–298.

Kobiela, F. (2018). Should chess and other mind sports be regarded as sports. *Journal of the Philosophy of Sport*, *45*(3), 279–295.

Koen, J. D., Borders, A. A., Petzold, M. T., & Yonelinas, A. P. (2017). Visual short-term memory for high resolution associations is impaired in patients with medial temporal lobe damage. *Hippocampus, 27*(2),

184–193.

Krawczyk, D. C., Boggan, A. L., McClelland, M. M., & Bartlett, J. C. (2011). The neural organization of perception in chess experts. *Neuroscience Letters, 499*(2), 64–69.

Kundel, H. L., Nodine, C. F., Conant, E. F., & Weinstein, S. P. (2007). Holistic component of image perception in mammogram interpretation: Gaze-tracking study. *Radiology*, *242*(2), 396–402.

Lane, D. M., & Chang, Y. A. (2018). Chess knowledge predicts chess memory even after controlling for chess experience: Evidence for the role of high-level processes. *Memory & Cognition*, *46*(3), 337–348.

Linhares, A., & Brum, P. (2007). Understanding our understanding of strategic scenarios: What role do chunks play? *Cognitive Science*, *31*(6), 989–1007.

Linhares, A., & Chada, D. M. (2013). What is the nature of the mind's pattern-recognition process? *New Ideas in Psychology*, *31*(2), 108–121.

Loiselle, M., Rouleau, I., Nguyen, D. K., Dubeau, F., Macoir, J., Whatmough, C., ... & Joubert, S. (2012). Comprehension of concrete and abstract words in patients with selective anterior temporal lobe resection and in patients with selective amygdalo-hippocampectomy. *Neuropsychologia, 50*(5), 630–639.

Mackintosh, N. (2011). *IQ and human intelligence* (2nd ed.). Oxford: Oxford University Press.

McGregor, S. J., & Howes, A. (2002). The role of attack and defense semantics in skilled players' memory for chess positions. *Memory & Cognition*, *30*(5), 707–717.

Mosing, M. A., Madison, G., Pedersen, N. L., & Ullén, F. (2016). Investigating cognitive transfer within the framework of music practice: Genetic pleiotropy rather than causality. *Developmental Science, 19*(3), 504–512.

Nakatani, H., & Yamaguchi, Y. (2014). Quick concurrent responses to global and local cognitive information underlie intuitive understanding in board-game experts. *Scientific Reports*, *4*(1), 1–10.

Polderman, T. J., Benyamin, B., De Leeuw, C. A., Sullivan, P. F., Van Bochoven, A., Visscher, P. M., & Posthuma, D. (2015). Meta-analysis of the heritability of human traits based on fifty years of twin studies. *Nature Genetics, 47*(7), 702–709.

Postal, V. (2012). Inhibition of irrelevant information is not necessary to performance of expert chess players. *Perceptual and Motor Skills, 115*(1), 60–68.

Ptak, R. (2012). The frontoparietal attention network of the human brain: Action, saliency, and a priority map of the environment. *The Neuroscientist, 18*(5), 502–515.

Reber, T. P., Bausch, M., Mackay, S., Boström, J., Elger, C. E., & Mormann, F. (2019). Representation of abstract semantic knowledge in populations of human single neurons in the medial temporal lobe. *PLOS Biology,*

17(6), e3000290.

Reingold, E. M., & Charness, N. (2005). Perception in chess Evidence from eye movements. In G. Underwood (Eds.), *Cognitive Processes in Eye Guidance* (pp. 325–354). Oxford: Oxford University Press.

Reingold, E. M., Charness, N., Pomplun, M., & Stampe, D. M. (2001). Visual span in expert chess players: Evidence from eye movements. *Psychological Science*, *12*(1), 48–55.

Reingold, E. M., Charness, N., Schultetus, R. S., & Stampe, D. M. (2001). Perceptual automaticity in expert chess players: Parallel encoding of chess relations. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*(3), 504–510.

Rennig, J., Bilalić, M., Huberle, E., Karnath, H. O., & Himmelbach, M. (2013). The temporo-parietal junction contributes to global gestalt perception-evidence from studies in chess experts. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 513.

Rennig, J., Himmelbach, M., Huberle, E., & Karnath, H.-O. (2015). Involvement of the TPJ area in processing of novel global forms. *Journal of Cognitive Neuroscience, 27*(8), 1587–1600.

Risi, S., & Preuss, M. (2020). From chess and atari to starcraft and beyond: How game AI is driving the world of AI. *KI-Künstliche Intelligenz*, *34*(1), 7–17.

Robbins, T. W., Anderson, E. J., Barker, D. R., Bradley, A. C., & Hudson, S. R. (1996). Working memory in chess. *Memory & Cognition*, *24*(1), 83–93.

Ross, D. A., Tamber-Rosenau, B. J., Palmeri, T. J., Zhang, J., Xu, Y., & Gauthier, I. (2018). High-resolution functional magnetic resonance imaging reveals configural processing of cars in right anterior fusiform face area of car experts. *Journal of Cognitive Neuroscience, 30*(7), 973–984.

Saariluoma, P. (1985). Chess players' intake of task-relevant cues. *Memory & Cognition*, *13*(5), 385–391.

Sala, G., Burgoyne, A. P., Macnamara, B. N., Hambrick, D. Z., Campitelli, G., & Gobet, F. (2017). Checking the "Academic Selection" argument. Chess players outperform non-chess players in cognitive skills related to intelligence: A meta-analysis. *Intelligence, 61*, 130–139.

Sala, G., & Gobet, F. (2017a). Does far transfer exist? Negative evidence from chess, music, and working memory training. *Current Directions in Psychological Science, 26*(6), 515–520.

Sala, G., & Gobet, F. (2017b). Experts' memory superiority for domain-specific random material generalizes across fields of expertise: A meta-analysis. *Memory & Cognition*, *45*(2), 183–193.

Sauce, B., & Matzel, L. D. (2018). The paradox of intelligence: Heritability and malleability coexist in hidden gene-environment interplay. *Psychological Bulletin, 144*(1), 26–47.

Savage, J. E., Jansen, P. R., Stringer, S., Watanabe, K., Bryois, J., De Leeuw, C. A., ... & Posthuma, D. (2018). Genome-wide association meta-analysis in 269,867 individuals identifies new genetic and functional

links to intelligence. *Nature Genetics, 50*(7), 912–919.

Schonberg, C., Marcus, G. F., & Johnson, S. P. (2018). The roles of item repetition and position in infants' abstract rule learning. *Infant Behavior and Development, 53*, 64–80.

Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Hubert, T., Simonyan, K., Sifre, L., Schmitt, S., Guez, A., Lockhart, E., Hassabis, D., Graepel, T., Lillicrap, T., & Silver, D. (2020). Mastering atari, go, chess and shogi by planning with a learned model. *Nature*, *588*(7839), 604–609.

Schultetus, R. S., & Charness, N. (1999). Recall or evaluation of chess positions revisited: The relationship between memory and evaluation in chess skill. *The American Journal of Psychology*, *112*(4), 555–569.

Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 20*(1), 11–21.

Sestieri, C., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2017). The contribution of the human posterior parietal cortex to episodic memory. *Nature Reviews Neuroscience, 18*(3), 183–192.

Sheridan, H., & Reingold, E. M. (2017). The holistic processing account of visual expertise in medical image perception: A review. *Frontiers in Psychology, 8,* 1620.

Smith, E. T., Bartlett, J. C., Krawczyk, D. C., & Basak, C. (2021). Are the advantages of chess expertise on visuo-spatial working-memory capacity domain specific or domain general?. *Memory & Cognition*, 49, 1600–1616.

Straube, B., He, Y., Steines, M., Gebhardt, H., Kircher, T., Sammer, G., & Nagels, A. (2013). Supramodal neural processing of abstract information conveyed by speech and gesture. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 7*, 120.

Subia, G. S., Amaranto, J. L., Amaranto, J. C., Bustamante, J. Y., & Damaso, I. C. (2019). Chess and mathematics performance of college players: An exploratory analysis. *Open Access Library Journal*, *6*(2), 1–7.

Ullén, Fredrik, Hambrick, D. Z. , & Mosing, M. A. (2016). Rethinking expertise: A multifactorial gene–environment interaction model of expert performance. *Psychological Bulletin, 142*(4), 427–446.

Unterrainer, J. M., Kaller, C. P., Halsband, U., & Rahm, B. (2006). Planning abilities and chess: A comparison of chess and non-chess players on the Tower of London task. *British Journal of Psychology*, *97*(3), 299–311.

Vaci, N., Edelsbrunner, P., Stern, E., Neubauer, A., Bilalić, M., & Grabner, R. H. (2019). The joint influence of intelligence and practice on skill development throughout the life span. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(37), 18363–18369.

Vaz, A. P., Inati, S. K., Brunel, N., & Zaghloul, K. A. (2019). Coupled ripple oscillations between the medial

temporal lobe and neocortex retrieve human memory. *Science, 363*(6430), 975–978.

Wan, X., Nakatani, H., Ueno, K., Asamizuya, T., Cheng, K., & Tanaka, K. (2011). The neural basis of intuitive best next-move generation in board game experts. *Science, 331*(6015), 341–346.

Wang, J., Conder, J. A., Blitzer, D. N., & Shinkareva, S. V. (2010). Neural representation of abstract and concrete concepts: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping, 31*(10), 1459–1468.

Whitaker, M. M., Pointon, G. D., Tarampi, M. R., & Rand, K. M. (2020). Expertise effects on the perceptual and cognitive tasks of indoor rock climbing. *Memory & Cognition, 48*(3), 494–510.

Wright, M. J., Gobet, F., Chassy, P., & Ramchandani, P. N. (2013). ERP to chess stimuli reveal expert-novice differences in the amplitudes of N2 and P3 components. *Psychophysiology, 50*(10), 1023–1033.

Processing characteristics and mechanisms of perception and memory of mind sports experts in domain-specific tasks

ZHAO Bingjie, ZHANG Qihan, CHEN Yixin, ZHANG Peng, BAI Xuejun

(Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University; Faculty of Psychology, Tianjin Normal University; Center of Collaborative Innovation for Assessment and Promotion of Mental Health, Tianjin 300387, China)

Abstract: Mind sports are competitive sports that aim at developing intelligence and involves multiple high-level cognitive processing. In this paper, we summarize the cognitive neural mechanisms through which experts' perception and memory are influenced by the experience of mind sports from the perspective of cognitive neuropsychology. Not only does the mind sports experience increase the span of the expert's perception, but also enable the expert to process the chess relations in parallel and thus exhibit holistic perception. This process was related to the temporo-parietal junction, supramarginal gyrus, retrosplenial cortex, collateral sulcus and fusiform gyri. The experts' memory advantage is based on imaginal memory of a series of location-specific chess pieces and the abstract information of knowledge, strategy, and semantic relation which is stored in the long-term memory. This process is associated with medial temporal lobe, frontal lobe and parietal lobe. Future research can delve into the neural mechanisms underlying the holistic perception and memory advantage of mind sports experts on the types of mind sports, innovative experimental paradigms, combined with measurement devices and cognitive characteristics, to provide theoretical basis for artificial intelligence and skill training.

Key words: mind sports, holistic perceptual advantage, memory advantage, abstract information, brain plasticity